

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-017508  
 (43)Date of publication of application : 17.01.2003

(51)Int.CI.

H01L 21/338  
 H01L 29/06  
 H01L 29/78  
 H01L 29/786  
 H01L 29/812  
 H01L 51/00

(21)Application number : 2001-204182  
 (22)Date of filing : 05.07.2001

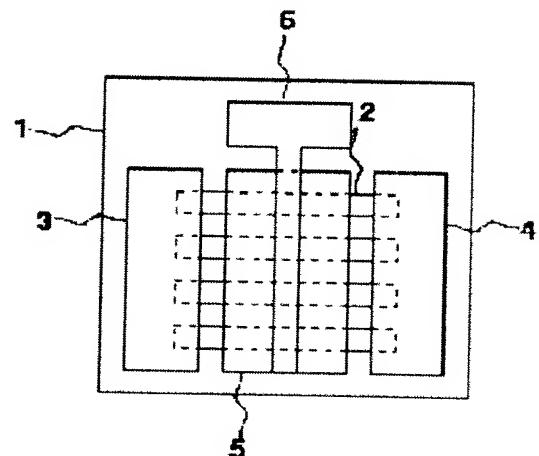
(71)Applicant : NEC CORP  
 (72)Inventor : NIHEI FUMIYUKI

## (54) FIELD EFFECT TRANSISTOR

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a field effect transistor for controlling or amplifying digital electrical signals or analog electrical signals of very high frequency.

**SOLUTION:** The field effect transistor, which comprises a channel provided on a substrate, a source electrode connected to a starting end of the channel, a drain electrode connected to an end of the channel, an insulator formed on the channel or on a side surface thereof, and a gate electrode formed on the channel or on the side surface thereof via the insulator, is characterized in that the channel is constituted of a plurality of carbon nanotubes.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-17508

(P 2003-17508 A)

(43) 公開日 平成15年1月17日 (2003.1.17)

(51) Int. Cl.

H01L 21/338  
29/06  
29/78  
29/786  
29/812

識別記号

601

F I

H01L 29/06  
29/80  
29/78  
29/28

601  
B 5F102  
301  
618  
B

テイコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全6頁) 最終頁に統く

(21) 出願番号

特願2001-204182 (P 2001-204182)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(22) 出願日

平成13年7月5日 (2001.7.5)

(72) 発明者 二瓶 史行

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外2名)

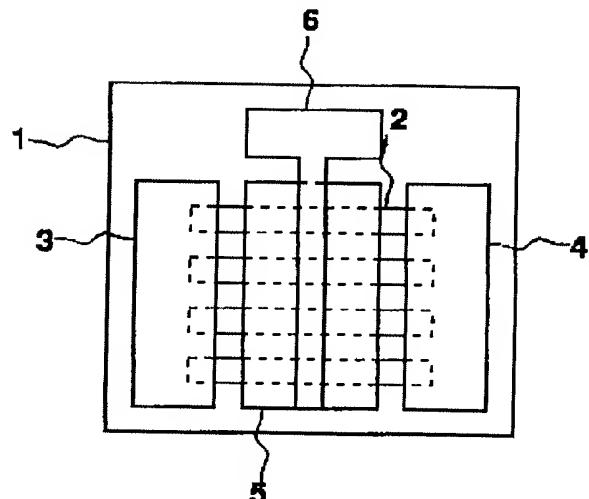
最終頁に統く

(54) 【発明の名称】 電界効果トランジスタ

(57) 【要約】

【目的】 非常に高い周波数のデジタル電気信号あるいはアナログ電気信号を制御あるいは増幅するための電界効果トランジスタを提供する。

【構成】 基板の上に設置されたチャネルと、チャネルの始端に接続されたソース電極と、チャネルの終端に接続されたドレイン電極と、チャネルの上あるいは側面に設置された絶縁体と、絶縁体を介してチャネルの上あるいは側面に設置されたゲート電極からなる電界効果トランジスタにおいて、チャネルが複数のカーボンナノチューブにより構成される事を特徴とする電界効果トランジスタ。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 荷電粒子が走行するチャネルと、それぞれチャネルの一部に接続されるソース領域、ドレイン領域と、チャネルと電磁気的に結合するゲート電極からなる電界効果トランジスタにおいて、チャネルがカーボンナノチューブで構成される事を特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項2】 カーボンナノチューブの電気特性が半導体型である事を特徴とする請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項3】 カーボンナノチューブに単層カーボンナノチューブあるいは多層カーボンナノチューブを含み、且つ、カーボンナノチューブに螺旋性がある場合あるいは無い場合を含む事を特徴とする請求項1または2に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項4】 カーボンナノチューブに荷電粒子供与体が添加されている事を特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項5】 荷電粒子供与体はアルカリ金属である事を特徴とする請求項4に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項6】 荷電粒子供与体はハロゲン原子あるいはハロゲン分子である事を特徴とする請求項4に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項7】 カーボンナノチューブが荷電粒子供給体を内包している事を特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項8】 カーボンナノチューブに内包されている荷電粒子供与体がフラー・レン類である事を特徴とする請求項7に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項9】 フラー・レンは化学修飾されている事を特徴とする請求項8に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項10】 フラー・レンは金属あるいは分子を内包している事を特徴とする請求項8または9のいずれかに記載の電界効果トランジスタ。

【請求項11】 ゲート電極が絶縁膜を介してチャネルに接続されていることを特徴とする請求項1ないし10のいずれか1項に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項12】 ゲート電極としてカーボンナノチューブを用いたことを特徴とする請求項1ないし11のいずれか1項に記載の電界効果トランジスタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、非常に高い周波数のデジタル電気信号あるいはアナログ電気信号を制御あるいは增幅するための電界効果トランジスタに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年の情報処理や通信などの高速化にともない、100GHz以上の非常に高い周波数のデジタル電気信号あるいはアナログ電気信号を制御あるいは增幅する電子デバイスの需要が高まっている。

【0003】 上記の目的に用いられる代表的な電子デバイスとしてGaAs等のIII-V族化合物電界効果トランジスタがある。典型的な電界効果トランジスタの断面の模式図を図6に、上面の模式図を図7に示す。図6および図7において、1は基板、2はチャネル、3はソース電極、4はドレイン電極、5は絶縁体、6はゲート電極である。チャネルは一般的に半導体で構成され、チャネルには電気伝導に寄与する荷電粒子が存在する。荷電粒子は電子あるいは正孔である。

【0004】 電界効果トランジスタはゲート電極に入力される電圧信号を、ソース電極あるいはドレイン電極から出力される電流信号に変換する装置である。ソース電極とドレイン電極との間に電圧を加えると、チャネルに存在する荷電粒子がソース電極とドレイン電極との間を電界方向に従って移動し、ソース電極あるいはドレイン電極から電流信号として出力される。電流信号はチャネルにおける荷電粒子の密度および速度に比例する。絶縁体を介してチャネルの上あるいは側面に接したゲート電極に電圧を加えると、チャネルに存在する荷電粒子の密度が変化するため、ゲート電圧を変化する事により電流信号を変化させる事ができる。

【0005】 電界効果トランジスタの動作速度は荷電粒子がチャネルを走行する時間で決定される。より正確には、チャネルのうち絶縁体を介してゲート電極に接した部分の流さ(ゲート長)を荷電粒子が走行する時間で決定される。ソース電極とドレイン電極との間の電圧を増加する事によりチャネルに存在する荷電粒子の走行速度は増大する。しかし、走行速度の増加にともない散乱確率が増加するため、ある一定以上には速度が増大しない。その値を飽和速度という。電界効果トランジスタの動作速度の指標である遮断周波数fTは、荷電粒子の飽和速度をvs、ゲート長をlgとして、 $fT = vs / 2\pi lg$ で与えられる。

【0006】 動作速度を増大、つまり遮断速度を増大させるには、飽和速度を増加するか、あるいはゲート長を減少すればよい。ゲート長はゲート電極に対する微細加工技術によって決定され、現状では0.1μm程度まで減少できる。飽和速度を増加させるには、高い飽和速度を持つ半導体をチャネルとして用いればよい。現在、ガリウム砒素がよく用いられており、その飽和速度は $1 \times 10^7$ cm/sである。ゲート長を0.1μmとすると、遮断周波数は160GHzとなる。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 近年の情報処理や通信などの高速化にともない、ガリウム砒素を材料とする電界効果トランジスタで処理できる周波数よりさらに高い周波数のデジタル電気信号あるいはアナログ電気信号を制御あるいは增幅する電子デバイスが必要となつていて。そのため、飽和速度がさらに大きい材料を用いた電界効果トランジスタが必要となる。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、基板の上に設置されたチャネルと、チャネルの始端に接続されたソース電極と、チャネルの終端に接続されたドレイン電極と、チャネルの上に設置された絶縁体と、絶縁体を介してチャネルの上に設置されたゲート電極からなる電界効果トランジスタにおいて、チャネルがカーボンナノチューブにより構成される事を特徴とする電界効果トランジスタを提供する。

【0009】また、カーボンナノチューブが半導体型であると、さらに効果的である。カーボンナノチューブとして単層カーボンナノチューブあるいは多層カーボンナノチューブのどちらでもよい。

【0010】また、チャネルに電荷供与体を添加した電界効果トランジスタを提供する。荷電供与体として、アルカリ金属を用いた電界効果トランジスタを提供する。また、ハロゲン分子を用いた電界効果トランジスタを提供する。

【0011】また、カーボンナノチューブをチャネルとする電界効果トランジスタにおいて、荷電粒子供与体がカーボンナノチューブに内包されている事を特徴とする電界効果トランジスタを提供する。フラー・レン類を内包したカーボンナノチューブをチャネルとする電界効果トランジスタを提供する。

## 【0012】

【発明の実施の形態】不純物散乱や格子散乱が抑制される事によってカーボンナノチューブの飽和速度は $8 \times 10^7$  cm/sまで達する。これは、ガリウム砒素の8倍に相当する。この材料をチャネルとする事により1THz以上の遮断周波数を持つ電界効果トランジスタが得られる事を我々は見い出した。

【0013】カーボンナノチューブの直径は非常に小さいため、1本の単層カーボンナノチューブに流すことのできる電流には限度があり、最大 $1\mu\text{A}$ 程度である。実用上は電界効果トランジスタの電流信号として $1\text{mA}$ 程度は必要である。しかし、複数本のカーボンナノチューブを配列したものをチャネルとして構成する事によって実用に耐えうる電界効果トランジスタを提供できる。配列するカーボンナノチューブは10本から10万本である。

【0014】通常の電界効果トランジスタにおいては、あるゲート電圧（しきい値電圧）を境界としてスイッチング動作をする。その電圧値はチャネル自身の特性および荷電粒子供与体により決定される。しきい値電圧を調整する事を目的として、チャネルに荷電粒子供与体を添加することができる。

【0015】通常、荷電粒子供与体には、電子供与体および正孔供与体がある。電子供与体として、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウムなどのアルカリ金属が有効である事がわかっている。また、正孔供与体として、塩素、臭素、ヨウ素などのハロゲン原子あるいは

ハロゲン分子が有効である事がわかっている。また、分子も荷電粒子供与体として働き、例えばアンモニア、塩化ベンザルコニウムは電子供与体として、酸素分子は正孔供与体として働く。電子供与体を添加するとn型の電界効果トランジスタとして動作し、その添加量を増やすことにより閾値電圧を負方向に調整できる。また、正孔供与体を添加するとp型の電界効果トランジスタとして動作し、その添加量を増やすことにより閾値電圧を正方向に調整できる。

【0016】荷電粒子供与体は、カーボンナノチューブの外部に存在してもよいし、カーボンナノチューブが内包してもよい。荷電粒子供与体がカーボンナノチューブに内包されていると外界からの影響が受けにくくなり、安定した電気特性が得られる。

【0017】以下、図面を参照しつつ本発明の実施例を詳細に説明する。

【0018】図1は、本発明の電界効果トランジスタの第1の実施例の断面構造を示す模式図である。図2は第1の実施例の上面の模式図である。図1および図2において、1は基板、2はチャネル、3はソース電極、4はドレイン電極、5は絶縁体、6はゲート電極である。

【0019】基板は絶縁性基板あるいは半導体性基板であればよい。絶縁性基板として、たとえば酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化チタン、フッ化カルシウム、アクリル樹脂、エポキシ樹脂等の絶縁性樹脂、ポリイミド、テフロン（登録商標）等を用いればよい。半導体基板としては、たとえばシリコン、ゲルマニウム、ガリウム砒素、インジウム燐、炭化シリコン等を用いればよい。基板表面は平坦である事が望ましい。

【0020】図3のように導電性基板の上に絶縁膜を形成した構造をとってもよい。この場合、導電性基板は第2のゲート電極としても作用させる事ができる。

【0021】複数のカーボンナノチューブをソース電極とドレイン電極の間に配列させる事によりチャネルとする。カーボンナノチューブの合成方法については限定しない。たとえば、レーザーアブレーション法、アーク放電法、化学気相成長法で合成すればよい。また、カーボンナノチューブは単層カーボンナノチューブでもよいし、多層カーボンナノチューブでもよい。チャネルに配列したカーボンナノチューブの隣接距離は、0.3nmから10μmの範囲にあればよい。カーボンナノチューブの配列方向は横方向のみに限定しない。上下方向にも同時に配列していくてもよい。

【0022】カーボンナノチューブの両端ハソース電極およびドレイン電極に電気的に接続させる。

【0023】基板上にカーボンナノチューブを配列させる方法としては、自己組織化分子膜を使う方法がある。基板の一部分を例えばアミノプロピルエトキシシラン分子膜で覆い、他の部分を例えばヘキサメチルジシラザン

分子膜で覆う。前者の分子膜は正に帶電する性質を持つ。カーボンナノチューブは負に帶電する性質を持つので、クーロン力により選択的に前者の分子膜に吸着する。後者の分子膜にはほとんど吸着しない。電子ビーム露光や光学露光の方法により分子膜のパターン形成が可能なので、ナノチューブを任意の位置に配置することができ、同様に配列する事もできる。

【0024】カーボンナノチューブを操作する方法として光ビンセットを用いる方法がある。これは、光を収束させるとミクロンサイズの粒子が凝集する。この方法を用いてカーボンナノチューブをチャネルに集積させる方法を用いてもよい。また、ナノチューブは電場の方向に向きやすい性質を用いて、ナノチューブを整列させてもよい。

【0025】ソース電極およびドレイン電極は金属であればよい。たとえば、金、銀、白金、チタン、炭化チタン、タンゲステン、アルミニウム、モリブデン、クロムなどを用いればよい。ソース電極やドレイン電極をカーボンナノチューブの先端に取りつけてもよいし、側面に取りつけてもよい。ソース電極およびドレイン電極は、チャネルを形成する前に形成してもよいし、チャネルを形成した後に形成してもよい。また電極形成の際に、よりよい電気的接続を目的として300°Cと1000°Cの範囲の熱処理を行なってもよい。また、カーボンナノチューブを拡散させたレジストを基板上に塗布し、このレジストを露光、現像し、電極を付着させてもよい。

【0026】カーボンナノチューブの上に直接ゲート電極を形成してもかまわないが薄い絶縁膜を介してゲート電極を形成してもよい。絶縁膜としては、酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化チタン、フッ化カルシウムなどの無機材料、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、ポリイミド、テフロンなどの高分子材料、アミノプロピルエトキシシランなどの自己組織化分子膜などを用いればよい。カーボンナノチューブの側面にはダングリングボンドがないため化学的に不活性であり、絶縁体の選択には自由度がある。

【0027】ゲート電極には導体を用いればよい。たとえば、金、銀、白金、チタン、炭化チタン、窒化チタン、タンゲステン、ケイ化タンゲステン、窒化タンゲステン、アルミニウム、モリブデン、クロム、多結晶シリコン、あるいはその組み合せであればよい。

【0028】カーボンナノチューブをゲート電極として用いてもよい。その場合、非常に短いゲート長が得られる。使用するカーボンナノチューブは単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、金属内包カーボンナノチューブでよい。金属性のカーボンナノチューブが好ましい。

【0029】図4は、本発明の電界効果トランジスタの第2の実施例の上面を示す模式図である。1は基板、2はチャネル、3はソース電極、4はドレイン電極、5は絶縁

体、6はゲート電極、7は荷電粒子供与体である。荷電粒子供与体は、カーボンナノチューブに対して電子あるいは正孔を供与する。これによってカーボンナノチューブに存在する荷電粒子の密度を制御する事ができる。

【0030】電子供与体として、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウムなどのアルカリ金属を用いればよい。正孔供与体として、塩素、臭素、ヨウ素などのハロゲン原子あるいはハロゲン分子を用いればよい。また、酸素分子、アンモニア、塩化ベンザルコニウムなどの分子を荷電粒子供与体として用いてもよい。

【0031】図5は、本発明の電界効果トランジスタの第3の実施例の上面を示す模式図である。荷電供与体7がカーボンナノチューブの内部に存在している。荷電供与体としてフラーーレン類を用いてよい。たとえば、C60、C70、C76、C78、C82、C84、C92などを用いればよい。また化学修飾されたフラーーレン類でもよい。またフラーーレンがさらに別の原子を内包していてもよい。たとえば、La、Er、Gd、Ho、Nd、Y、Sc、Sc<sub>2</sub>、Sc<sub>3</sub>Nを内包したフラーーレンを用いてもよい。これらのフラーーレンはともに荷電粒子供与体として有効に作用する。

【0032】カーボンナノチューブに電子あるいは正孔を供給する方法としては、放射線照射および金属蒸着による製造方法を用いることができる。

### 【0033】

【発明の効果】本発明によれば、従来のIII-V属の化合物電界効果トランジスタと同等のゲート長で飽和速度が非常に大きいカーボンナノチューブによりチャネルを構成する事ができるので非常に高い周波数でデジタル電気信号あるいはアナログ電気信号を制御あるいは増幅する電界効果トランジスタが実現できる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施例である電界効果トランジスタの断面の模式図。

【図2】 本発明の第1の実施例である電界効果トランジスタの上面の模式図。

【図3】 本発明の第1の実施例において導電性基板の上に絶縁膜を設置した電界効果トランジスタの断面の模式図。

【図4】 本発明の第3の実施例である電界効果トランジスタの上面の模式図。

【図5】 本発明の第4の実施例である電界効果トランジスタの上面の模式図。

【図6】 従来例である電界効果トランジスタの断面の模式図。

【図7】 従来例である電界効果トランジスタの上面の模式図。

### 【符号の説明】

1 基板

2 チャネル

3 ソース電極

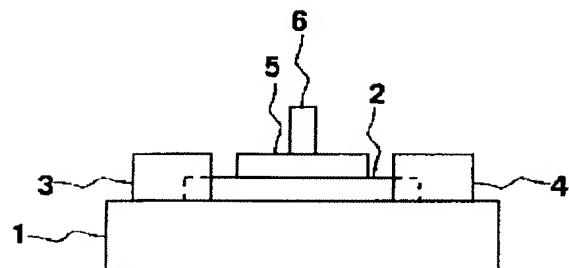
7

8

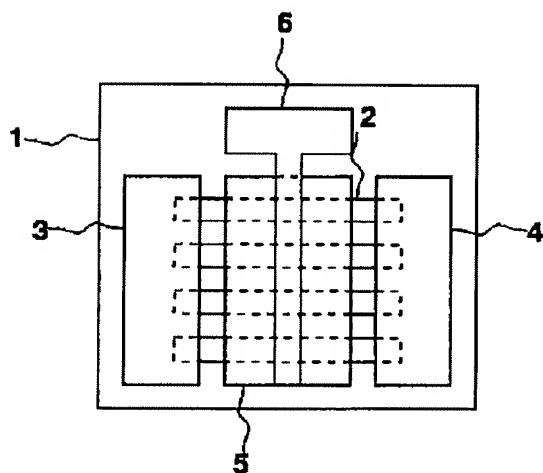
4 ドレイン電極  
5 絶縁体  
6 ゲート電極

7 荷電粒子供与体  
8 絶縁膜

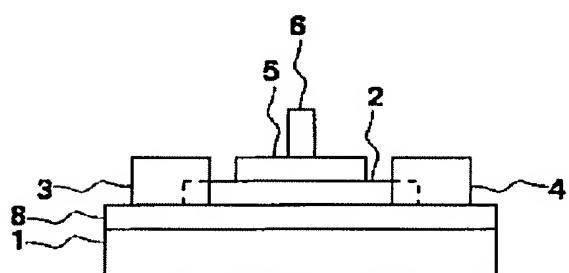
【図 1】



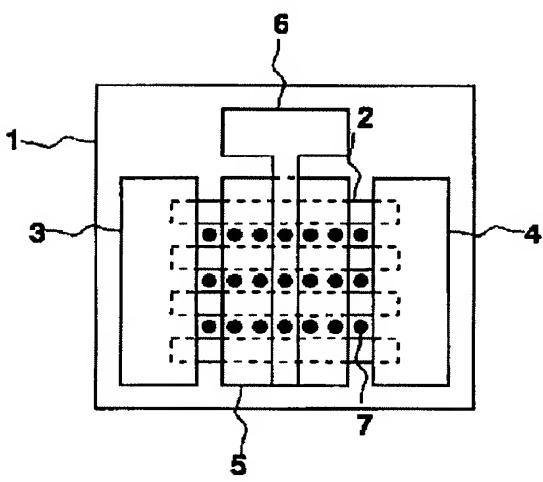
【図 2】



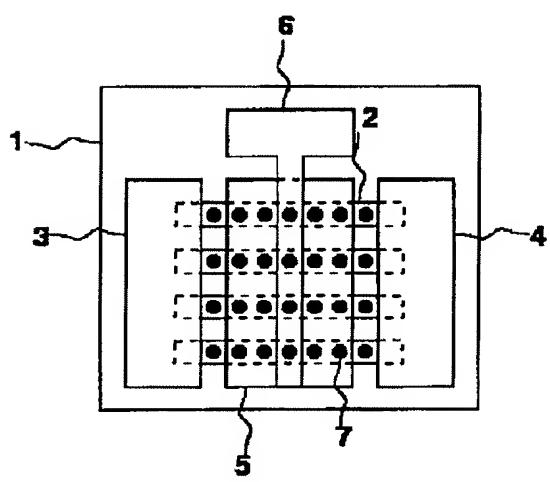
【図 3】



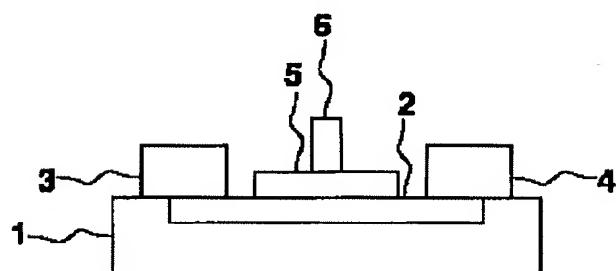
【図 4】



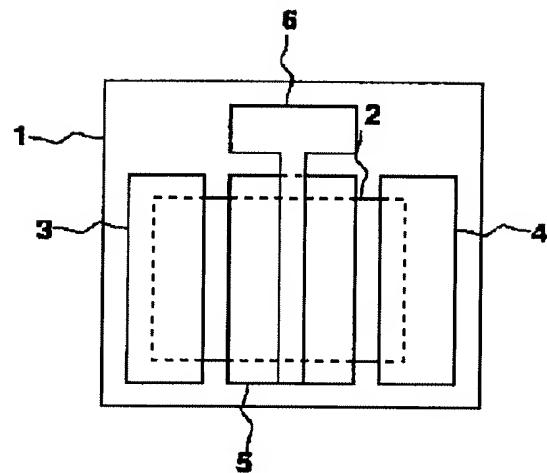
【図 5】



【図 6】



【図 7】




---

フロントページの続き

(51) Int. Cl.  
H01L 51/00

識別記号

F I

テーマコード (参考)

F ターム (参考) 5F102 FB10 GB01 GC01 GC02 GD01  
 GD02 GD10 GJ10 GL02 GL08  
 GM02 GR06 GT10  
 5F110 AA01 CC02 DD01 DD05 EE01  
 EE02 EE04 EE29 FF01 FF02  
 FF03 GG01 GG19 GG22 GG41  
 HK02 HK04  
 5F140 AA01 AA07 AC36 BA01 BB00  
 BB01 BB15 BD04 BD05 BD07  
 BD11 BF01 BF03 BF04 BF05  
 BF07 BF08 BJ01 BJ05 BJ07